Inyectores de fertilizante tipo Venturi

Aplicación, diseño y simulación

Arturo García-Saldaña[1], Cesáreo Landeros-Sánchez[1], Arturo Pérez-Vázquez[1], María Castañeda-Chávez[2], Juan P. Martínez-Dávila[1], Eugenio Carrillo-Ávila[3]
Campus Veracruz[1], Posgrado e Investigación[2], Campus Campeche[3]
Colegio de Posgraduados[1,3,], Intituto Tecnológico de Boca del Río
Tepetates, Ver.[1], Boca del Río, Ver. [2], Campeche, Camp.[3]; México
[asaldana, clandero, parturo, jpmartin, ceugenio]@colpos.mx, castanedaitboca@yahoo.com.mx

***Abstract*—**Current requirements call for the introduction of new irrigation technologies into agricultural fields. The aim of this review was to describe the main characteristics of Venturi type fertilizer injectors. It contains information related to the design, construction, modeling, performance, evaluation and installation, and provides a basis for the implementation of these systems into low pressure irrigation so as to improve the fertilizers management. The appropriate methodology for developing design is a simulation model based on the method of computational fluid dynamics, which results in a time and money. The design of injectors' diameters took into account the entrance, exit, suction and throat, as well as the convergent and divergent angles.

Keyword— Fertirrigation, Inyectors, Venturi, Low Pressure Irrigation

***Resumen*—**Las exigencias actuales demandan la introducción de nuevas tecnologías de riego en los campos agrícolas. El objetivo de este trabajo fue describir las principales características de inyectores de fertilizante tipo Venturi. Contiene información relacionada con el diseño, construcción, modelado, montaje, desempeño, evaluación e instalación. Ofrece bases para la implementación de éstos en sistemas de riego de baja presión para mejorar el manejo de fertilizantes. La metodología idónea para su diseño es desarrollar modelos simulados basados en el método de dinámica de fluidos computacional, obteniendo un ahorro de tiempo y dinero. Para el diseño de diámetros de inyectores se tomó la entrada, salida, succión y garganta, así como los ángulos convergentes y divergentes.

Palabras claves— Fertirrigación, Inyectores, Venturi, Riego baja presión

I. INTRODUCCIÓN

El rendimiento de un cultivo está directamente relacionado con la cantidad de nutrimentos que los diversos tipos de suelo le aporten, o bien por la aplicación de abonos fertilizantes en las cantidades técnicamente recomendadas. Sin embargo, una de las problemáticas que enfrenta la agricultura mexicana es la pérdida de la fertilidad de los suelos por fenómenos de degradación o bien debido a la escasa economía de muchos productores que no pueden acceder a insumos y tecnología para elevar la fertilidad de los suelos [1]. Lo anterior conduce a que los agricultores aporten una menor cantidad de nutrientes al suelo y que se traduzca en un menor rendimiento agrícola. Los diferentes tipos de fertilizante aportan nutrimentos carentes en muchos suelos tropicales y permiten una mejora en el desempeño de los cultivos [2].

En las últimas décadas se han desarrollado diversas técnicas para la aplicación de fertilizantes. Una de éstas técnicas es la fertirrigación, desarrollada en la época de los años 70´s en Japón y algunos países Europeos [3]. La fertirrigación consiste en mezclar el fertilizante con el agua de riego, con la ventaja de conseguir una uniformidad en la aplicación del fertilizante. Además, se requiere una menor cantidad de jornales y se evita que la maquinaria pesada entre en contacto con los suelos evitando su compactación. Esto permite una mayor precisión y eficiencia en los tiempos de riego y en la cantidad de fertilizante necesaria a utilizar en la agricultura [4]; contribuyéndose así, con un uso eficiente en el manejo del agua.

En la actualidad la mayoría de los sistemas agrícolas que implementan la fertirrigación requieren de energía externa para mover bombas eléctricas para el riego y bombas que inyecten el fertilizante al

sistema. En otros casos se requiere de bombas que eleven la presión del sistema mediante el cual se garantiza el adecuado funcionamiento de los inyectores. Para conseguir una presión elevada en ambos casos, se requiere de tecnología cuyos costos son altos y muchas veces fuera del alcance del productor.

En la parte central del Estado de Veracruz, México, el Colegio de Posgraduados Campus Veracruz ha desarrollado sistemas de riego con multicompuertas que trabajan a baja presión. Esta tecnología busca eficientar el recurso hídrico y se adapta a las necesidades de los productores cañeros, obteniendo una eficiencia de riego hasta del 70 % [5]. De ahí surge la necesidad de complementar este sistema tecnológico con dispositivos de fertirrigación que aprovechen la infraestructura existente para inyectar fertilizante nitrogenado eficientemente.

La implementación de inyectores en estos sistemas de riego, conseguirá una eficiente aplicación de fertilizantes mediante una mezcla homogénea de éstos [6]. Además, con una programación adecuada de tiempos de riego se podrá disminuir la contaminación por excesos en la aplicación de fertilizante nitrogenado, ahorrar fertilizante y agua en la aplicación del riego [7].

Este trabajo tiene la finalidad de proporcionar información sobre el tema para lograr el desarrollo de prototipos inyectores de fertilizante nitrogenado que se adapten a las cargas de presión existentes en los sistemas de riego de baja presión, que utilizan multicompuertas y que no requieran de energía externa para su funcionamiento.

II. TRABAJOS RELACIONADOS

Existen varios tipos de inyectores para la distribución de fertilizante, dependiendo del sistema de riego donde se vayan a emplear. Principalmente los sistemas de riego se pueden clasificar de acuerdo a la carga de presión a utilizar como muestra la tabla 1.

Tabla I. Clasificación de los sistemas de riego con base en el nivel de presión requerida en el emisor o hidrante [8].

<table>
<tr><td rowspan="15">Sistema de Riego</td><td rowspan="2">Presión Nula</td><td rowspan="11">Cobertura total del terreno</td><td>Subsuperficial</td><td colspan="2">Nivel freático controlado</td></tr>
<tr><td>Superficial</td><td colspan="2" rowspan="2">Melgas
Surcos
Surcos en contorno
Corrugaciones y cajetes</td></tr>
<tr><td>Baja Presión</td><td>Multicompuertas (0.1-0.2 Kg/cm2)</td></tr>
<tr><td rowspan="12">Alta Presión</td><td rowspan="8">Aspersión (2-7 Kg/cm2)</td><td rowspan="5">Estacionarios</td><td>Fijo</td></tr>
<tr><td>Semifijo</td></tr>
<tr><td>Portátil</td></tr>
<tr><td>Cañón fijo</td></tr>
<tr><td>Side roll</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Movimiento Continuo</td><td>Pivote central</td></tr>
<tr><td>Cañón viajero</td></tr>
<tr><td>Avance frontal</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Cobertura parcial del terreno</td><td rowspan="4">Localizado (0.5-2.5 Kg/cm2)</td><td rowspan="2">Goteo (0.5 -1.3 Kg/cm2)</td><td>Superficial</td></tr>
<tr><td>Enterrado</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Microaspersión (1.3-2.5 Kg/cm2)</td><td>Microaspersión</td></tr>
<tr><td>Borboteo</td></tr>
</table>

Por lo anterior, según su aplicación los dispositivos inyectores se pueden utilizar en sistemas de riego de baja presión o alta presión. En su gran mayoría se desarrollan inyectores para sistemas de alta presión por presentar una menor pérdida de esta durante el proceso a emplearse. Los tipos de conexión más

comunes en estos inyectores tipo Venturi son los que se conectan por “by pass”, en serie o en paralelo como se muestra en la figura 1.

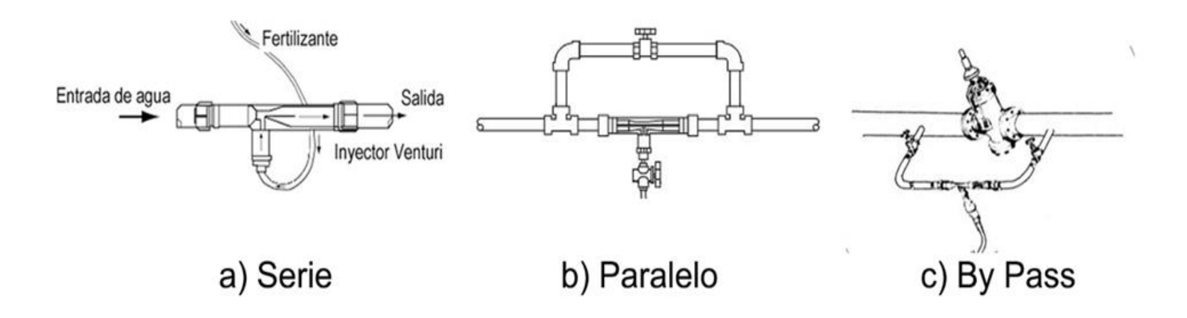


Fig. 1. Tipos de conexión en inyectores de fertilizante tipo Venturi.

A. Funcionamiento de un inyector tipo Venturi.

Un inyector del tipo Venturi genera succión debido al diferencial de presión negativa que se produce entre su entrada y su salida al reducir su diámetro de garganta y acelerar la velocidad del filudo debido a este decremento en los diámetros. La presión de entrada de energía se traduce en la energía cinética cuando el agua fluye a través de la garganta del inyector. A medida que aumenta la presión entrada y la velocidad de descarga, aumenta la energía cinética en la garganta; cuando alcanza un cierto valor, la energía de presión en la garganta desaparece por completo y la presión negativa se produce. Cuando la presión negativa alcanza el valor mínimo y se mantiene estable, la velocidad de flujo aumenta significativamente a medida que aumenta la presión de entrada. La energía cinética y la pérdida de carga en la garganta también aumentan muy rápidamente a medida que aumenta la velocidad de fluido [9]. La figura 2 muestra la estructura interna de un inyector tipo Venturi.

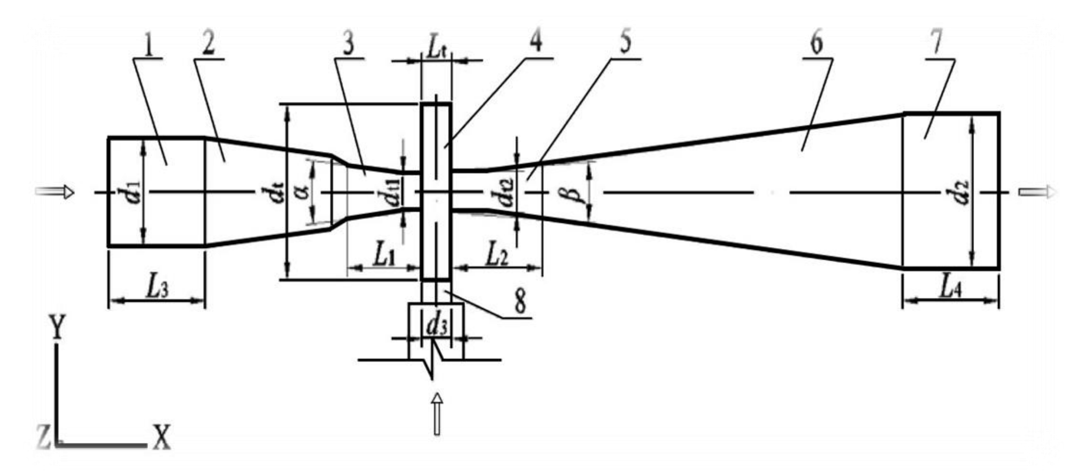


Fig. 2. Estructura interna del flujo en un inyector tipo Venturi (1. Conexión de entrada; 2.Zona de estrechamiento II; 3 Zona de estrechamiento I; 4 Garganta;5 Difusor parte I; 6 Difusor parte II; 7 Conexión de salida; 8 Entrada del Inyector) [10].

Debido a que los principios que rigen el funcionamiento de estos dispositivos se basan en leyes universales de la mecánica de fluidos, existe mucha información de las consideraciones generales que se deben tomar en cuenta para su diseño y construcción [11]. Aunado a esto, Replogle [12] menciona que existen métodos económicos para la construcción de estos dispositivos utilizando tuberías de plástico, los cuales no requieren de una calibración especial para las prácticas agrícolas.

B. Instalación de los inyectores tipo Venturi

En la práctica, los sistemas de riego de baja presión se construyen a partir del diámetro de tubería (D) relativamente mayores a 6 pulgadas, por lo que es esencial que el flujo de entrada al Venturi sea uniforme. Por tanto, es deseable un largo tramo continuo con tubería recta aguas arriba y aguas debajo de la localización del Venturi para mejorar la precisión del inyector. La relación es aproximadamente 10 pulgadas de diámetro de tubería aguas arriba y 4 pulgadas de diámetro de tubería aguas abajo. Los requerimientos de tubería recta dependen del accesorio necesario aguas arriba del inyector como lo muestra la tabla 2.

Tabla II. Longitudes de tramo recto en aguas arriba mínimas requeridas en accesorios y/o conexión para la correcta instalación de un inyector tipo Venturi [13]. El valor se multiplica por diámetro de tubería D.

Accesorio y/o conexión	**Valor de β**				
	0.40	***0.50***	***0.60***	***0.70***	***0.75***
Codo simple	1.5	1.5	3	4	4.6
Dos codos en el mismo plano	1.5	2.5	3.5	4.5	4.5
Dos codos en planos distintos	0.5	8.5	17.5	27.5	29.5
Reducción	2.5	5.5	8.5	10.5	11.5
Expansión	1.5	2.5	3.5	5.5	6.5
Válvula de globo abierta	2.5	3	3.5	4	4.5
Válvula de compuerta abierta	2.5	3.5	4.5	5.5	5.5

C. Diseño del Inyector

Existen dos variables geométricas comunes en todos inyectores de tipo Venturi: el diámetro de la tubería (D) y el diámetro del estrangulamiento o garganta (d), la relación d/D se conoce como relación de diámetros y se simboliza con la letra griega β (beta) [13].La tabla 3 muestra los valores extremos para β y D para un inyector tipo Venturi en riego a baja presión.

Tabla III. Valores máximos y mínimos aceptables de la relación de diámetros (β) y el diámetro de la tubería (d) para el diseño de inyectores tipo Venturi [13].

Variable	**valor**
D_{min}	200 *mm*
D_{max}	1200 *mm*
β_{min}	0.40
β_{max}	0.70

Algunos autores señalan que el diseño para el inyector tipo Venturi está definido con un ángulo convergente (αc) de 21 º y 10.5 º [14] y el divergente (αd) 5 º y 7 º. Empresas como Mazzei, Vicamp y otros ya comercializan al mercado los Inyectores de fertilizante con este diseño [15], sin embargo investigadores como Zárate [16] señalan que se encuentran altos rendimientos en el uso de energía (menores pérdidas de carga), al realizar la succión de un segundo fluido con un αc de 7,5 º contra ad de 5 º y 7 º comerciales; aunque en las pruebas realizadas se encontró que para inyectores de fertilizante para baja presión, los diseños con ac 21° y ad de 6° tiene mejor rendimiento.

D. Evaluación

Yuan [17], evaluó el efecto del cambio de temperatura química en la tasa de flujo de inyección y la velocidad con que es inyectada. Determinó que los inyectores del tipo Venturi que utilizan productos

químicos indisolubles adquieren mayor velocidad por la densidad de la mezcla y el aumento en su temperatura, pero es contraproducente ya que existe una mayor tendencia al deterioro del medio ambiente y a la afectación en los cultivos.

E. Eficiencia

Neto [18], menciona que la construcción de inyectores no supera la eficiencia obtenida por un sistema presurizado con bombas de chorro convencionales, sin embargo menciona que su construcción a medida supera el doble o triple la eficiencia de un tubo Venturi comercial, obteniéndose así un mejor costo beneficio, y acercándose a la eficiencia que desarrollada por una bomba. También Lima Neto [19] evaluó inyectores para determinar que la mayor eficiencia en su uso se obtiene cuando el fluido a succionar tiende a ser más denso. La tasa de inyección tiene un efecto significante en la uniformidad de la distribución del fertilizante [20] y en este sentido los inyectores tipo Venturi son los que demuestran mayor uniformidad comparados con otros métodos de inyección [21].

F. Construcción

Vargas [22] menciona que los inyectores tipo Venturi son viables técnicamente y su costo de construcción es relativamente bajo. Podemos encontrar en sus trabajos de evaluación relaciones que muestran los principios del efecto Venturi, destacando algunas características primordiales que se deben tomar en cuenta en su diseño tales como: ángulo convergente, ángulo divergente y diámetro de garganta. Probó diferentes ángulos para la construcción de estos dispositivos, pero su aplicación es en sistemas de riego por goteo donde los diámetros de tubería son relativamente pequeños. Por lo que de manera inicial se debe determinar el gasto del dispositivo de inyección tipo Venturi utilizando la siguiente ecuación [13]:

$$Q = \frac{Cd}{\sqrt{1-\beta^4}}\frac{\pi}{4}d^2\sqrt{2gh_0} \qquad (1)$$

Dónde:

Q: Caudal (m^3/s); *Cd*: Coeficiente de descarga (--); β : relación de diámetros *d/D(D: diámetro de entradadel inyector(m))*; *d*: diámetro de garganta (m); *g*: Aceleración de la gravedad (9.81 m/s^2); y *h*: Presión diferencial (m.c.a.).

La ecuación es aplicable a flujos no compresibles (como el agua) y con las siguientes condiciones:

1. El flujo debe ser homogéneo;
2. Debe conocerse con precisión el valor de la presión diferencial.
3. El conducto debe trabajar a presión (tubo lleno).

G. Presión dentro del inyector

Baylar [23] dice que con una mínima presión diferencial existente en el dispositivo, se genera la succión suficiente para utilizar el dispositivo, la cual se puede calcular previo a su construcción si se dispone de un software para su simulación, en cuyo caso los resultados reales y la simulación son similares.

Las diferencias de presión crítica y máxima están en relación lineal con la presión de entrada. La tasa de flujo de entrada del inyector Venturi aumenta con la creciente de la presión de entrada o la diferencia entre las presiones de entrada y salida. Si esta presión diferencial es pequeña, el diámetro de la toma de inyección debe ser menor para aumentar la relación de la tasa de inyección, de igual manera el diámetro de la garganta y los ángulos convergente y divergente deben de ser aumentados [24]. Con esto se consigue un mejor rendimiento en el inyector.

Kumara S. [25], menciona que el tubo Venturi es el método más común para aplicar fertilizantes, y a pesar de esto existe poca información al respecto. La pérdida de presión producida por la utilización de

inyectores Venturi durante la inyección de fertilizante disminuye la calidad de la fertilización y la uniformidad de riego [10], por lo que se deben de optimizar sus parámetros estructurales para obtener un mejor rendimiento.

H. Rendimiento

Así mismo el diámetro de la garganta tiene influencia sobre el comportamiento de flujo interno de la garganta del inyector y el ángulo divergente, el rendimiento de inyección y la eficiencia. La relación de ángulo convergencia y ángulo divergencia tiene más influencia en el rendimiento de inyección que el diámetro de la garganta. El rango de la relación de los ángulos convergente y divergente es de 1:2 y 1:3. Estos nos proporcionan la máxima eficiencia de inyección [26].

Los parámetros hidráulicos como son el ángulo de convergencia, diámetro de garganta y ángulo de divergencia se pueden determinar en base a un software de simulación de dinámica de fluidos computacional (CFD) [27,28]. La relación de contracción de la garganta es el principal factor en el rendimiento del inyector Venturi [29], que se correlaciona positivamente con la velocidad de salida, negativamente con la presión crítica, la presión mínima en el tubo, el coeficiente de pérdida de carga locales y la relación de absorción de fertilizante.

I. Succión de fertilizante

Han [30] demostró que la cantidad de succión de fertilizantes y la descarga de entrada se ven afectados por la presión de entrada y la presión de salida directamente, y que un dispositivo diseñado a medida obtiene mejor rendimiento que un de marca comercial.

Una deformación dinámica puede producirse debido a efectos de cavitación y deformar nuestro material del cual está construido nuestro inyector tipo Venturi por lo que debe tenerse en cuenta que la cavitación crítica ocurre en inyector Venturi cuando la presión de entrada está por debajo de los 0.20 MPa [31].

J. Simulación

Con el fin de reducir el efecto en la diferencia de presión de entrada-salida requerida por el dispositivo inyector tipo Venturi y mejorar la eficiencia de inyección, Yan [32] menciona que la mejor opción para calcular los parámetros estructurales ideales es la simulación por computadora el cual nos puede ayudar a calcular la tasa de flujo de inyección del dispositivo; misma que se logra con una presión constante en la entrada, por lo que se recomienda una válvula reguladora de presión aguas arriba antes de instalar nuestro dispositivo Venturi y a una distancia tal que se evite turbulencias en nuestro fluido.

K. Uniformidad en aplicación de fertilizantes

A fin de realizar una fertilización de tasa variable con inyector Venturi, se debe implementar un control con un modulador de ancho de pulso (PWM) que garantice la correcta aplicación del fertilizante [33]. Li [34] menciona que el dispositivo de inyección tipo Venturi es el dispositivo ideal para la fertirrigación, debido a su estructura simple, la economía, la viabilidad, y fácil construcción. Sin embargo para lograr una uniformidad en la aplicación de fertilizante, se debe de complementar el sistema con un circuito de control de lazo cerrado, el cual garantiza la mezcla homogénea en la aplicación de fertilizante.

III. CONCLUSIONES

Debido a que los inyectores de fertilizante se basan en las leyes de la mecánica de fluidos, existe mucha información general para desarrollar prototipos según las necesidades requeridas, mismos que proporcionan mejor desempeño comparados con los dispositivos comerciales, pero a pesar de esto a nivel mundial pocos trabajos se han especializado en la construcción e implementación de dichos

dispositivos para ser usados en sistemas de riego de baja presión (en su mayoría se utilizan en sistemas presurizados).

Es posible determinar tanto las características físicas como el desempeño de un dispositivo inyector de fertilizante del tipo Venturi con base a una simulación previa basada en el método de dinámica de fluidos computacional (CFD). Estas características estiban en los cálculos de los diámetros de entrada, de succión, de garganta y de salida, así como los ángulos convergentes y divergentes.

Ninguno de los anteriores diseños se ha utilizado en sistemas de riego a baja presión por multicompuertas, en la mayoría de los casos se utilizan en sistemas de riego por goteo, donde se requiere de un sistema presurizado, pero con un buen diseño estos principios pueden ser utilizados en sistemas de baja presión. Existe poca información acerca de dispositivos para aplicación de fertilizantes utilizando el principio del tubo Venturi en sistemas de riego de baja presión, por lo que es apremiante el desarrollo de prototipos que se utilice en estos sistemas de riego sin la necesidad de energía alternativa y que disminuyan costos de operación. Utilizando la técnica CFD se determinó el uso de los ángulos de entrada de 7.5° y 21° con ángulos de salida de 10° y 6° respectivamente para sistemas de riego de baja presión por multicompuertas.

A pesar de que el dispositivo inyector de fertilizante tipo Venturi es redituable para la fertirrigación, lograr una mejor eficiencia y una mezcla homogénea requiere de un sistema de control electrónico que corrija los errores encontrados en el proceso, por lo que requiere instrumentación con un sistema de control PID (Proporcional Integral Derivativo) en el proceso de fertirrigación.

Reconocimientos

Este proyecto fue realizado con el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y el Colegio de Posgraduados Campus Veracruz en especial la LPI-8: Impacto y mitigación del cambio climático.

Referencias

[1] Becerra Moreno Antonio, 1988. Conservación de suelos y desarrollo sustentable, ¿Utopía o posibilidad en México? TERRA VOLUMEN 16 NUMERO 2, 1998 , pp 175

[2] Orozco Romero, José, 1998. Producción de Banano Orgánico y/o ambientalmente amigable. Memorias del taller internacional realizado en la EARTH, Guácimo, Costa Rica 27-29 de julio de 1988. pp 82

[3] Armengol Eric, 1997. Horticultura 121- junio´97. pp 85-88

[4] Cadahia, C. 2005. Fertirrigación: Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. Mundi-Prensa.

[5] Landeros Sánchez Cesáreo, 2000. Proyecto ejecutivo para el diseño de dos módulos de riego en caña de azúcar y otros cultivos con redes pequeñas utilizando tubería de baja presión, en los Módulos I-1 La Antigua Y III-1 Puente Nacional del Distrito de Riego 035 la antigua del Estado de Veracruz. Comisión Nacional del Agua en colaboración con el Colegio de Postgraduados – Campus Veracruz

[6] Bracy, R.P., Parish, R.L., Rosendale, R.M. 2003. Fertigation uniformity affected by injector type. HortTechnology. Volume 13, Issue 1, January 2003, Pages 103-105

[7] Tayel, M.Y., El-Dardiry, E.I.,Shaaban, S.M.,Sabreen, K.P.2010. Effect of injector types and irrigation and nitrogen levels on: III - cost analysis of garlic production. Journal of Applied Sciences Research. Volume 6, Issue 7, July 2010, Pages 822-829

[8] Ecológica, S. E. d. A. 2009. Riego localizado y fertirrigación. Ediciones Mundi-Prensa.

[9] Fan, X.ab , Kong, L.ac. 2013. Relationship of energy conversion for Venturi injector. Paiguan Jixie Gongcheng Xuebao/Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering. Volume 31, Issue 6, June 2013, Pages 528-533

[10] H J Yan, Y Chen, X Y Chu, Y C Xu and Z P Wang (2012). Effect of structural optimization on performance of Venturi injector. 26th IAHRSymposiumonHydraulicMachineryandSystems IOP Publishing. IOP Conf.Series:EarthandEnvironmentalScience 15 (2012) 072014doi:10.1088/1755-1315/15/7/072014.

[11] Lewit E.H , 1952.Applied Engineering in Agriculture. Volume 10, Issue 1, January 1994, pp 21-26

[12] Replogle, J.A., Wahlin, B.. 1994. Venturi meter constructions for plastic irrigation pipelines. Applied Engineering in Agriculture. Volume 10, Issue 1, January 1994, Pages 21-26

[13] Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) 2011. Serie autodidacta de medición. Tubos Venturi, Dall y Tobera. Comisión Nacional del Agua. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México. Dic. 2011. ISBN 968-5536-03-1

[14] Reader-Harris, M.J. , Brunton, W.C., Gibson, J.J., Hodges, D., Nicholson, I.G. 2001. Discharge coefficients of Venturi tubes with standard and non-standard convergent angles. Flow Measurement and Instrumentation. Volume 12, Issue 2, April 2001, Pages 135-145

[15] VICAMP, 2002. Inyector de Fertilizantes VICAMP n .9 1 – 2 P. Manual de Instalación y operación.

[16] Zarate, RN, 1995. Desenvolvimento e Avaliaçao de dos Inyectores de Fertilizantes tipo Venturi.

[17] Yuan, Z., Choi, C.Y., Waller, P.M., Colaizzi, P. 2000. Effects of liquid temperature and viscosity on Venturi injectors . Transactions of the American Society of Agricultural Engineers.Volume 43, Issue 6, 2000, Pages 1441-1447.University of Arizona, Dept. Agricultural/Biosystems Eng., Shantz Bldg. No. 38, Tucson, AZ 85721, United States

[18] Neto, I.E.l., de Melo Porto, R. 2004. Performance of low-cost ejectors. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. Volume 130, Issue 2, March 2004, Pages 122-128

[19] Lima Neto, I.E.2006. Dimensionless formulatión of flow in fertilizer injectors [Formulação adimensional do fluxo em injetores de fertilizantes]. Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental Volume 10, Issue 2, April 2006, Pages 247-251

[20] Regina P. Bracy, Richard L. Parish, and Roger M. Rosendale, 2003. Fertigation Uniformity Affected by Injector Type. HortTechnology. Volume 13, Issue 1, January 2003, Pages 103-105

[21] Jiusheng Li Æ Yibin Meng Æ Bei Li, 2006. Field evaluation of fertigation uniformity as affected by injector type and manufacturing variability of emitters. Irrig Sci (2007) 25:117–125 DOI 10.1007/s00271-006-0039-7

[22] Vargas M.R.,Chipana René, Huaita C.E.,2008. Inyector de fertilizante tipo Venturi: construcción y evaluación. Facultad de Agronomía. La Paz, Bolivia.

[23] Baylar, A.a, Aydin, M.C.b, Unsal, M.c, Ozkan, F.c. .2009.Numerical modeling of Venturi flows for determining air injection rates using fluent V6.2. Mathematical and Computational Applications. Volume 14, Issue 2, Pages 97-108

[24] Yan, H.a , Chu, X.a , Wang, M.a, Ma, Z. 2010. Injection performance of Venturi injector in micro-irrigation system. Paiguan Jixie Gongcheng Xuebao/Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering Volume 28, Issue 3, May 2010, Pages 251-255+264. College of Water Conservancy and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

[25] Kumara, S., Singha, K.G., Singlaa, C. 2012. A low head, minimum pressure-loss equipment for fertilizer application through drip irrigation. AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America Volume 43, Issue 4, September 2012, Pages 80-83

[26] Yan, H. , Chu, X. 2011. Numerical simulation for influence of throat diameter on Venturi injector performance. Paiguan Jixie Gongcheng Xuebao/Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering. Volume 29, Issue 4, July 2011, Pages 359-363

[27] Perumal, K.a , Krishnan, J. 2013. A CFD study of the effect of venturi geometry on high pressure wet gas metering. International Journal of Oil, Gas and Coal Technology .Volume 6, Issue 5, 2013, Pages 549-566

[28] Sun, Y., Niu, W. 2012. Simulating the effects of structural parameters on the hydraulic performances of venturi tube. Modelling and Simulation in Engineering. Volume 2012, 2012, Article number 458368. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A and F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

[29] Yanqi Sun and Wenquan Niu, 2012. Simulating the Effects of Structural Parameters on the Hydraulic Performances of Venturi Tube. Hindawi Publishing Corporation.Modelling and Simulation in Engineering. Volume 2012, Article ID 458368, 7 pages.

[30] Han, Q.ab , Huang, X.c , Liu, H.d, Wu, W.d, Fan, Y. 2013.Comparative analysis on fertilization performance of six Venturi injectors. Nongye Jixie Xuebao/Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery. Volume 44, Issue 4, April 2013, Pages 113-117+136

[31] Yan, H. , Chen, Y. , Xu, Y., Wang, Z. 2013. Experimental investigation on cavitation characteristics of Venturi injector. Paiguan Jixie Gongcheng Xuebao/Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering.Volume 31, Issue 8, August 2013, Pages 724-728.

[32] Yan, H. , Chen, Y. , Chu, X., Xu, Y., Wang, Z. 2013. Influence of optimization of structural parameters on injection performance of Venturi injector. Paiguan Jixie Gongcheng Xuebao/Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering. Volume 31, Issue 2, February 2013, Pages 162-166+179.

[33] Li, J.abc , Hong, T.abc , Feng, R.abc, Yue, X.abc, Luo, Y.abc , 2012. Design and experiment of Venturi variable fertilizer apparatus based on pulse width modulation. Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering.Volume 28, Issue 8, 15 April 2012, Pages 105-110.

[34] Li, J.ab , Hong, T.bcd , Feng, R.be, Ni, H. 2013. Design and experiment of automatic mixing apparatus for liquid fertilizer based on fuzzy control. Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering Volume 29, Issue 16, 15 August 2013, Pages 22-30.